

# G-GranSasso

*Pisa*

*LNL*

*Napoli*

*Padova*

*Torino*

# Rivelatore ottico di rotazione mediante interferometria Sagnac

- Il GrV ha finanziato circa 5 anni fa un piccolo esperimento, **G-Pisa**, per
- acquisire la tecnica del ringlaser G di Wettzel (goal mondiale di sensibilità)
  - applicazioni future su Virgo (separare gradi di libertà rotazionali e traslazionali)
  - mettere a punto un esperimento di fisica fondamentale (misura effetto Lense-Thirring)

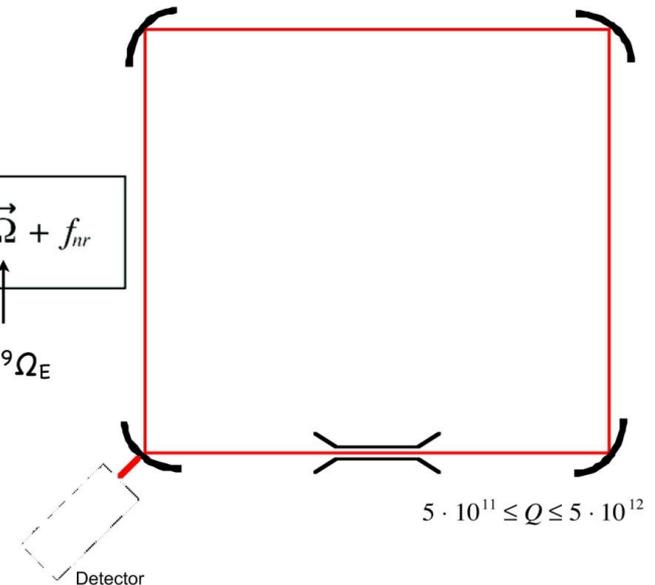
## Caratteristiche di un ring-laser

- sensore scalare assoluto di rotazione & angoli
- insensibile alle accelerazioni lineari del sistema di riferimento
- rotazione terrestre è il bias per evitare che i due modi del laser si aggancino per effetti non lineari

The making of a ring laser

$$\delta f = \frac{4A}{\lambda P} \vec{n} \cdot \vec{\Omega} + f_{nr}$$

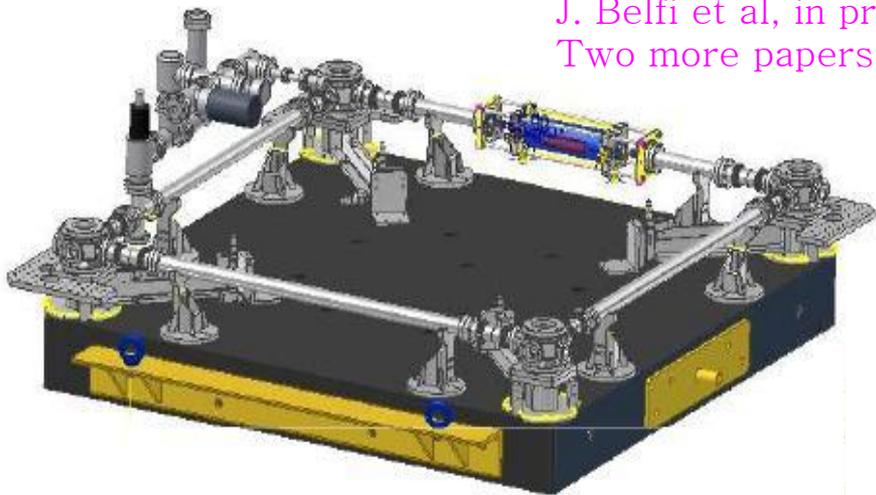
$10^{-9} \Omega_E$



Sensibilità ring-laser G @ Wettzell

$$\Delta\Omega = 4.5 \cdot 10^{-12} \text{ rad/s}/\sqrt{\text{Hz}}$$

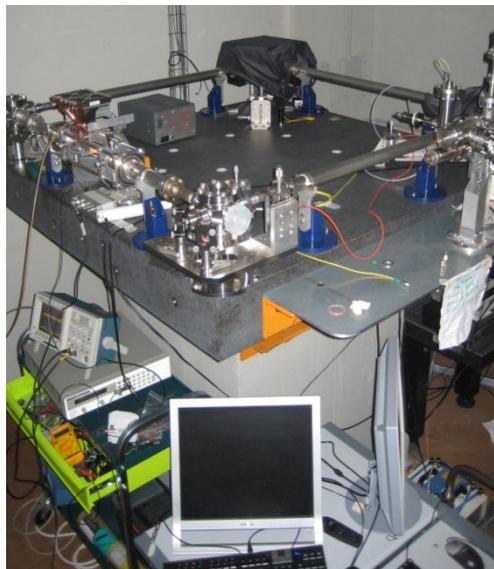
[A. Di Virgilio et al., Class. Quant. Grav. 27, 2010]  
J. Belfi et al, in press. In Applied Phys. B  
Two more papers in preparation (deadline July 31 2011)



- G-Pisa è installato (in verticale) nell'area centrale di Virgo per
  - studi di rumore rotazionale ambientale
  - misure di tilt noise per sospensioni VIRGO
- Attualmente in presa dati a 5kHz utilizzando il DAQ di VIRGO
- Spostato a S. Piero a settembre 2011
- Stabilizzazione con il nuovo laser fine 2011-inizio 2012

July 2010: "Ty" config.

February 2011 "Tx" config.



# G-Pisa Ring laser

- **Analisi dati acquisiti e attività sperimentale in corso**
  - caratterizzazione del rumore rotazionale e tilt nell'area centrale di VIRGO
  - strategie per migliorare l'accuratezza di misura a frequenze ultrabasse (Kalman Filter per cancellazione rumore di back-scattering)
  - migliorare la stabilizzazione del perimetro del ring con un laser di riferimento assoluto (fine 2011)

# G-Pisa & G

Paper in preparazione

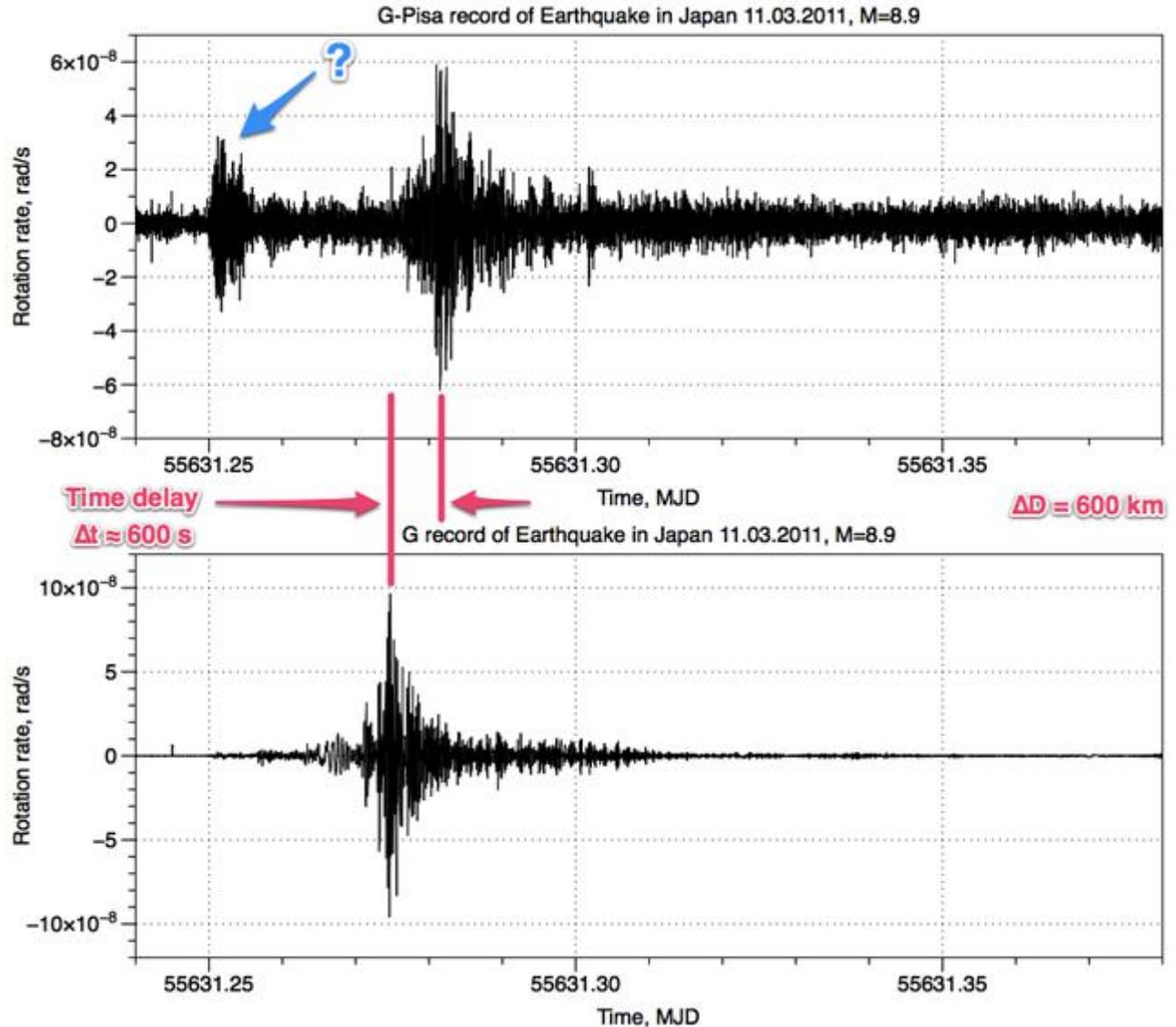
onde P e onde di Reyleigh associata al sisma in Giappone



“G-Pisa” @Cascina (Italy)



“G” @ Wettzel (Germany)



# G-GranSasso

- Un array di 5 sensori sismici ha preso dati a LNGS. La conclusione è stata che sopra 1 mHz gli spostamenti verticali sono molto piccoli, mentre quelli nel piano orizzontale piuttosto alti; probabilmente è dovuto all'impianto di aereazione che alimenta un flusso continuo d'aria; questo problema può essere corretto con delle porte a chiusura stagna opportunamente posizionate.
- **Abbiamo scritto il proposal scientifico**
- il 20 maggio abbiamo avuto una riunione a Monaco
- Il 27 giugno saremo in Comm2 con un intervento di U. Schreiber e mio



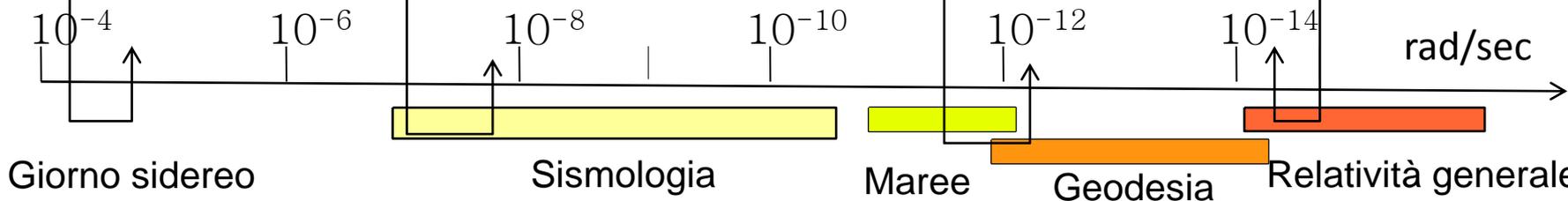
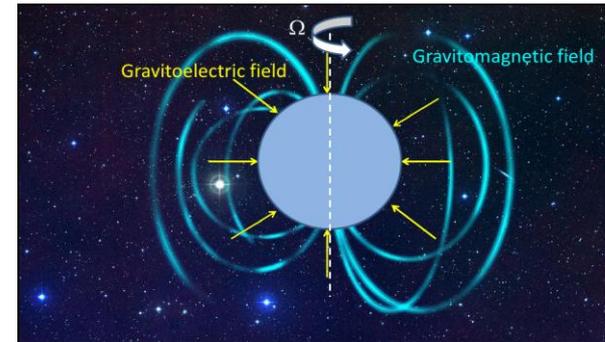
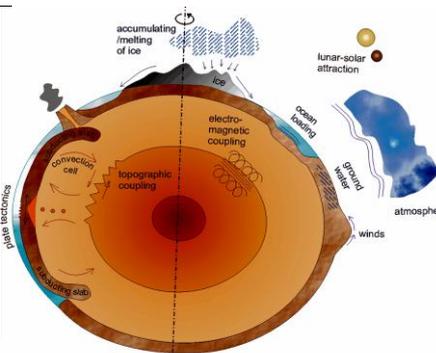
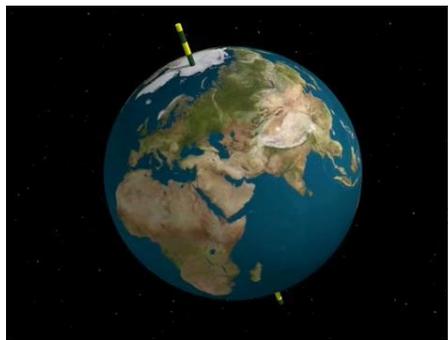
# G-GranSasso: un sistema tri-assiale

di ring lasers per misure di effetti relativistici

Fisica Fondamentale, Geodesia e Geofisica

il 16 maggio a Monaco U. Schreiber ha ribadito la volontà di spingere per questo esperimento (Bundesamt fuer Kartographie und Geodesie, TUM, LMU and Univ. of Christchurch NZ)

## Contributi alle misure di rotazione



Measuring gravito-magnetic effects by multi ring-laser gyroscope

F. Bossi<sup>a</sup>, G. Cella,<sup>b</sup> and A. Di Virgilio<sup>c</sup>  
*INFN Sez. di Pisa, Pisa, Italy*

A. Ortolan<sup>d</sup>  
*Laboratori Nazionali di Legnaro, INFN Legnaro (Padova), Italy*

A. Porzio<sup>e</sup> and S. Solimeno<sup>f</sup>  
*University of Naples and CNR-SPIN, Naples, Italy*

M. Cerdonio<sup>g</sup> and J. P. Zende<sup>h</sup>  
*INFN Sez. di Padova, Padova, Italy*

M. Allegrini,<sup>i</sup> J. Bell,<sup>j</sup> N. Beverini,<sup>k</sup> B. Bouhadez,<sup>l</sup> G. Carelli,<sup>m</sup>  
 I. Ferrante,<sup>n</sup> E. Maccioni,<sup>o</sup> R. Passaquitelli,<sup>p</sup> and F. Stefan<sup>q</sup>  
*University of Pisa and CNISM, Pisa, Italy*

M. L. Ruggiero<sup>r</sup> and A. Tartaglia<sup>s</sup>  
*Polit. of Torino and INFN, Torino, Italy*

K. U. Schreiber<sup>t</sup> and A. Gebauer<sup>v</sup>  
*Technische Universität München, Forschungsgruppe Satellitengeodäsie  
 Fundamentaltabelle Wettzell, 93444 Bad Kissing, Germany*

J.-P. R. Wallé<sup>w</sup>  
*Department of Physics and Astronomy, University of Canterbury, Christchurch 8080, New Zealand*

Draft  
 Draft

We propose an under-ground experiment to detect the general relativistic effects due to the curvature of space-time around the Earth (de Sitter effect) and to rotation of the planet (dragging of the inertial frames or Lense-Thirring effect). It is based on the comparison between the IERS value of the Earth rotation vector and corresponding measurements obtained by a tri-axial laser detector of rotation. The proposed detector consists of six large ring-lasers arranged along three orthogonal axes. In about two years of data taking, the 1% sensitivity required for the measurement of the Lense-Thirring drag can be reached with square rings of 8 m side, assuming a shot noise limited sensitivity (20 grad/s/√Hz). The multi-gyro system, composed of rings whose planes are perpendicular to one or the other of three orthogonal axes, can be built in several ways. Here, we consider cubic and octahedron structures. The symmetries of the proposed configurations provide mathematical relations that can be used to study the stability of the scale factors, the relative orientations of the ring-laser planes, very important to get rid of systematic in long-term measurements, which are required in order to determine the relativistic effects.

PACS numbers: 42.15.Dp, 42.30.Ey, 42.55.Lt, 91.10.Jn

<sup>a</sup>Electronic address: bossi@pi.infn.it

<sup>b</sup>Electronic address: giancarlo.cella@pi.infn.it

<sup>c</sup>Electronic address: angelo.divirgilio@pi.infn.it

<sup>d</sup>Electronic address: an.ortolan@lncf.infn.it

<sup>e</sup>Electronic address: alberto.porzio@na.infn.it

<sup>f</sup>Electronic address: schimeno@na.infn.it

<sup>g</sup>Electronic address: cerdonio@pd.infn.it

<sup>h</sup>Electronic address: zende@pd.infn.it

<sup>i</sup>Electronic address: maria.allegrini@pd.infn.it

<sup>j</sup>Electronic address: bell@pd.infn.it

<sup>k</sup>Electronic address: beverini@pd.infn.it

<sup>l</sup>Electronic address: bouhadez@df.unipi.it

<sup>m</sup>Electronic address: carelli@df.unipi.it

<sup>n</sup>Electronic address: iacopo.ferrante@pi.infn.it

<sup>o</sup>Electronic address: maccioni@df.unipi.it

<sup>p</sup>Electronic address: roberto.passaquitelli@pi.infn.it

<sup>q</sup>Electronic address: fabio.stefan@unipi.it

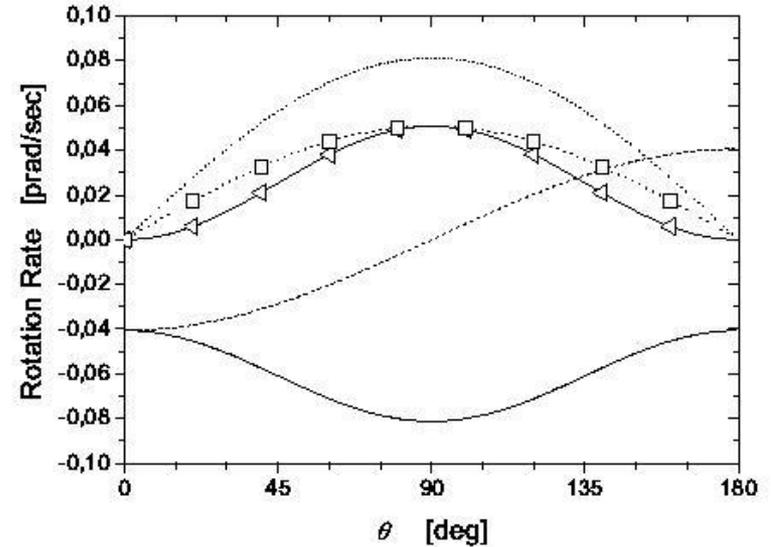
<sup>r</sup>Electronic address: mario.ruggiero@polito.it

<sup>s</sup>Electronic address: angelo.tartaglia@polito.it

<sup>t</sup>Electronic address: schreiber@fz.tu-muench.de

<sup>v</sup>Electronic address: gebauer@fz.tu-muench.de

<sup>w</sup>Electronic address: joe.wall@canterbury.ac.nz



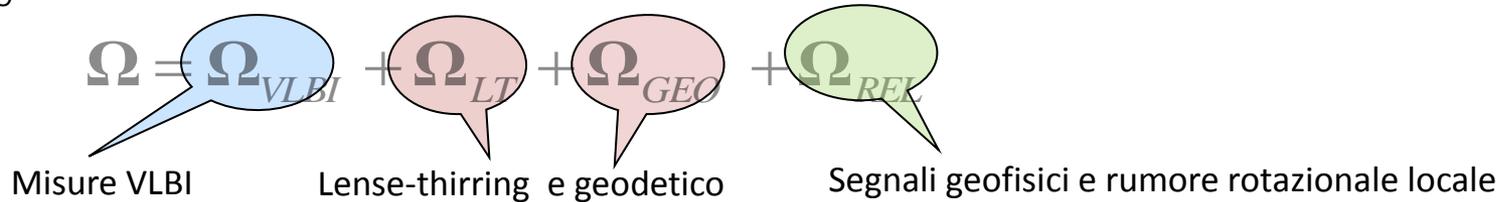
Misura delle velocità angolare  
 Con precisione  $5 \times 10^{-10}$

# G-GranSasso

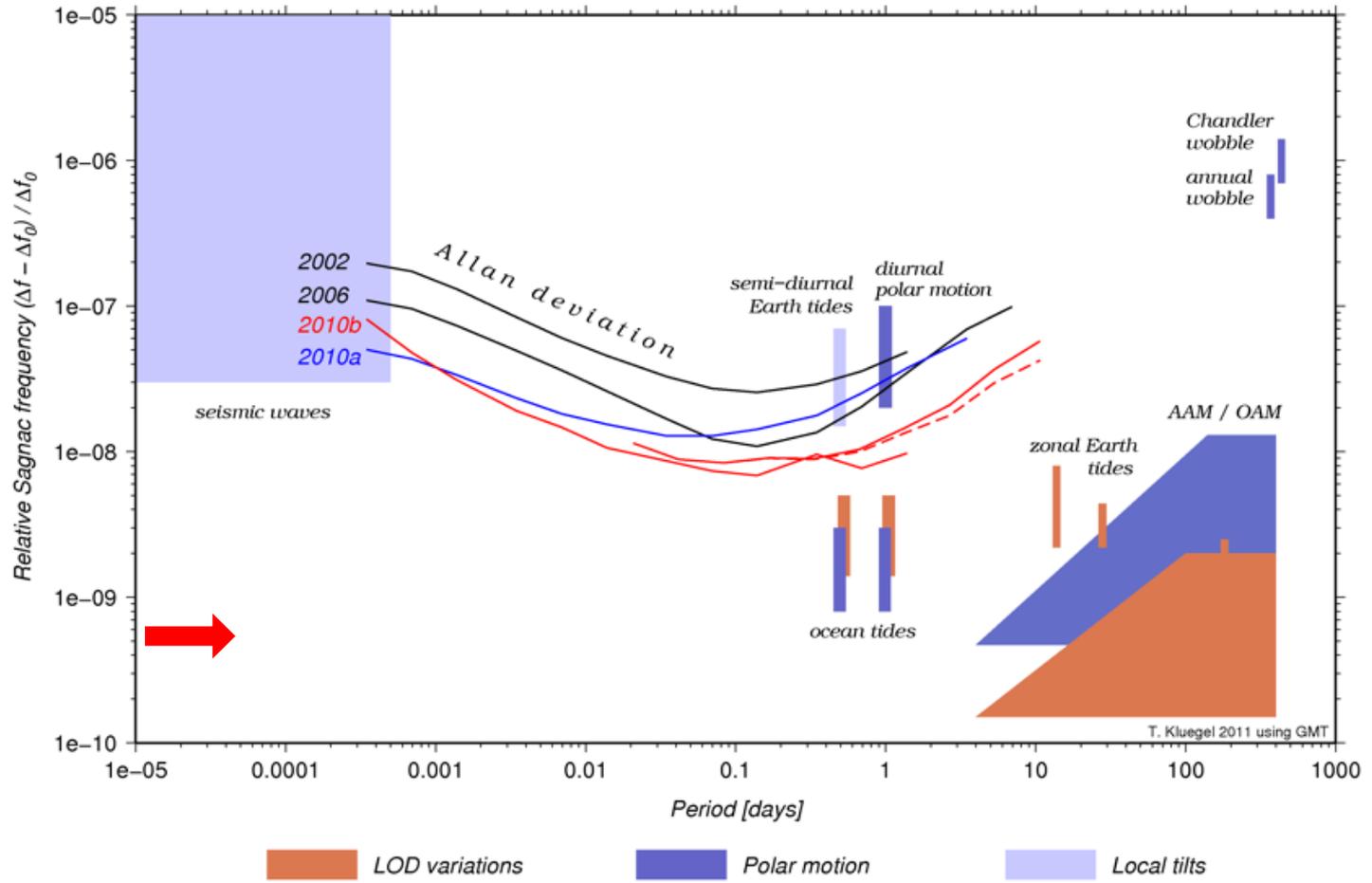
- Confronto della misura della rotazione locale  $\Omega$  con quella delle stelle fisse ottenuta da misure VLBI  $\Omega_{VLBI}$  (cambia in direzione (polar motion) e modulo (Lunghezza del giorno))
- Controllo della geometria (area dei ring e angoli relativi delle loro normali) meglio di una parte su  $10^9$

$$\Omega = \Omega_{VLBI} + \Omega_{LT} + \Omega_{GEO} + \Omega_{REK}$$

Misure VLBI      Lense-thirring e geodetico      Segnali geofisici e rumore rotazionale locale

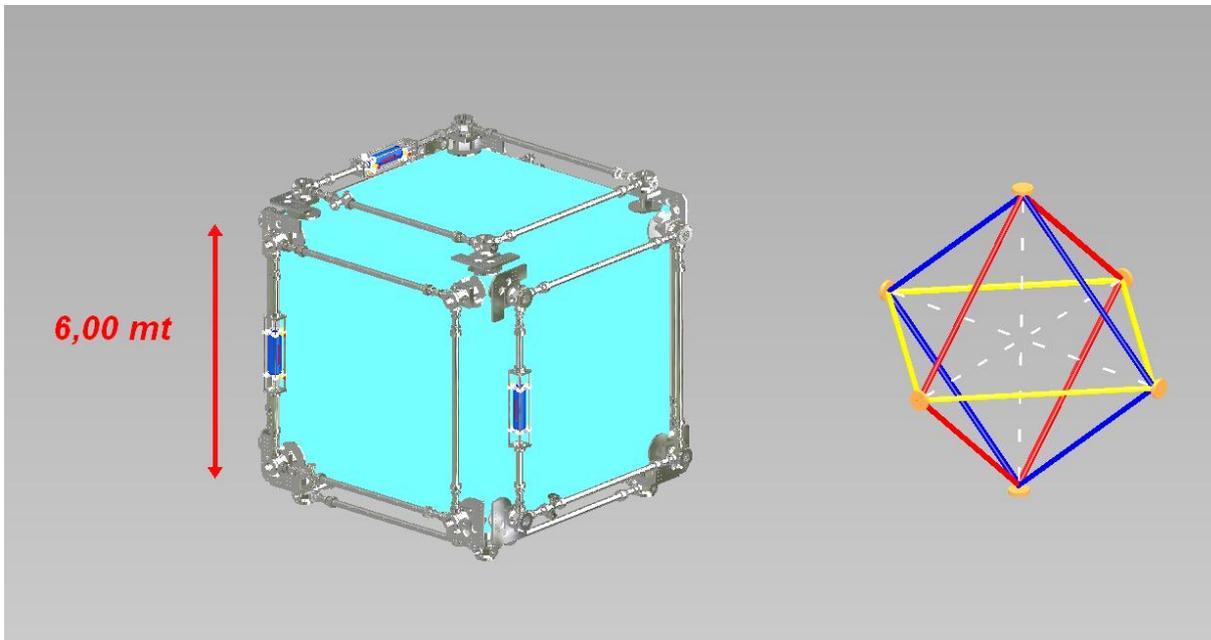
The diagram illustrates the equation  $\Omega = \Omega_{VLBI} + \Omega_{LT} + \Omega_{GEO} + \Omega_{REK}$ . Each term is enclosed in a speech bubble: a blue bubble for  $\Omega_{VLBI}$ , two pink bubbles for  $\Omega_{LT}$  and  $\Omega_{GEO}$ , and a green bubble for  $\Omega_{REK}$ . Below the equation, the text 'Misure VLBI' is aligned under the blue bubble, 'Lense-thirring e geodetico' is aligned under the two pink bubbles, and 'Segnali geofisici e rumore rotazionale locale' is aligned under the green bubble.

# Precisione raggiunta da G Wettzell

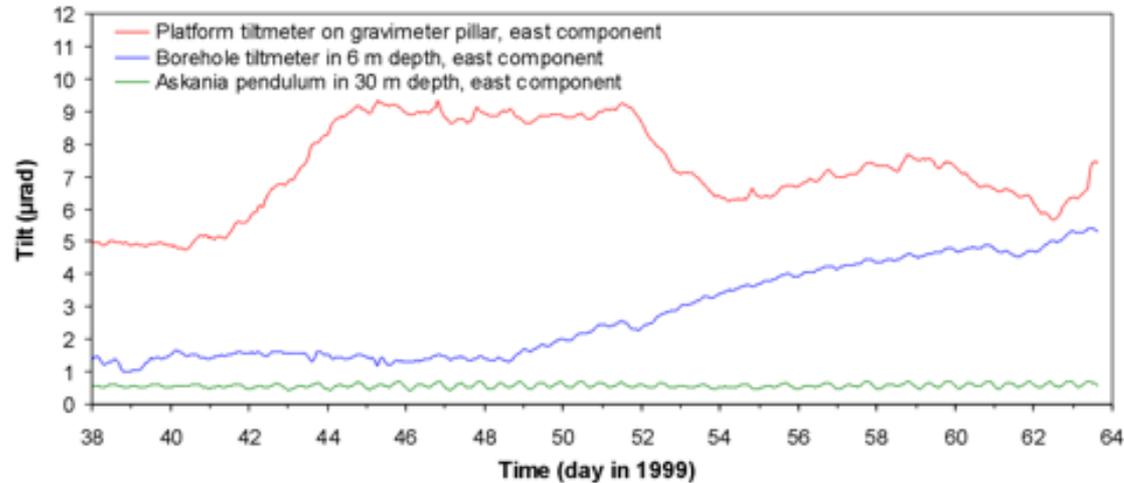


# G-GranSasso

- 3 anelli sono il minimo, ma la ridondanza sarebbe importante per la diagnostica. Inoltre strutture simmetriche potrebbero essere molto utili
  - Cubo: 6 rings indipendenti sulle facce di un cubo (24 specchi)
  - Ottaedro: 3 rings con 2 specchi in comune lungo gli spigoli di un ottaedro (6 specchi)

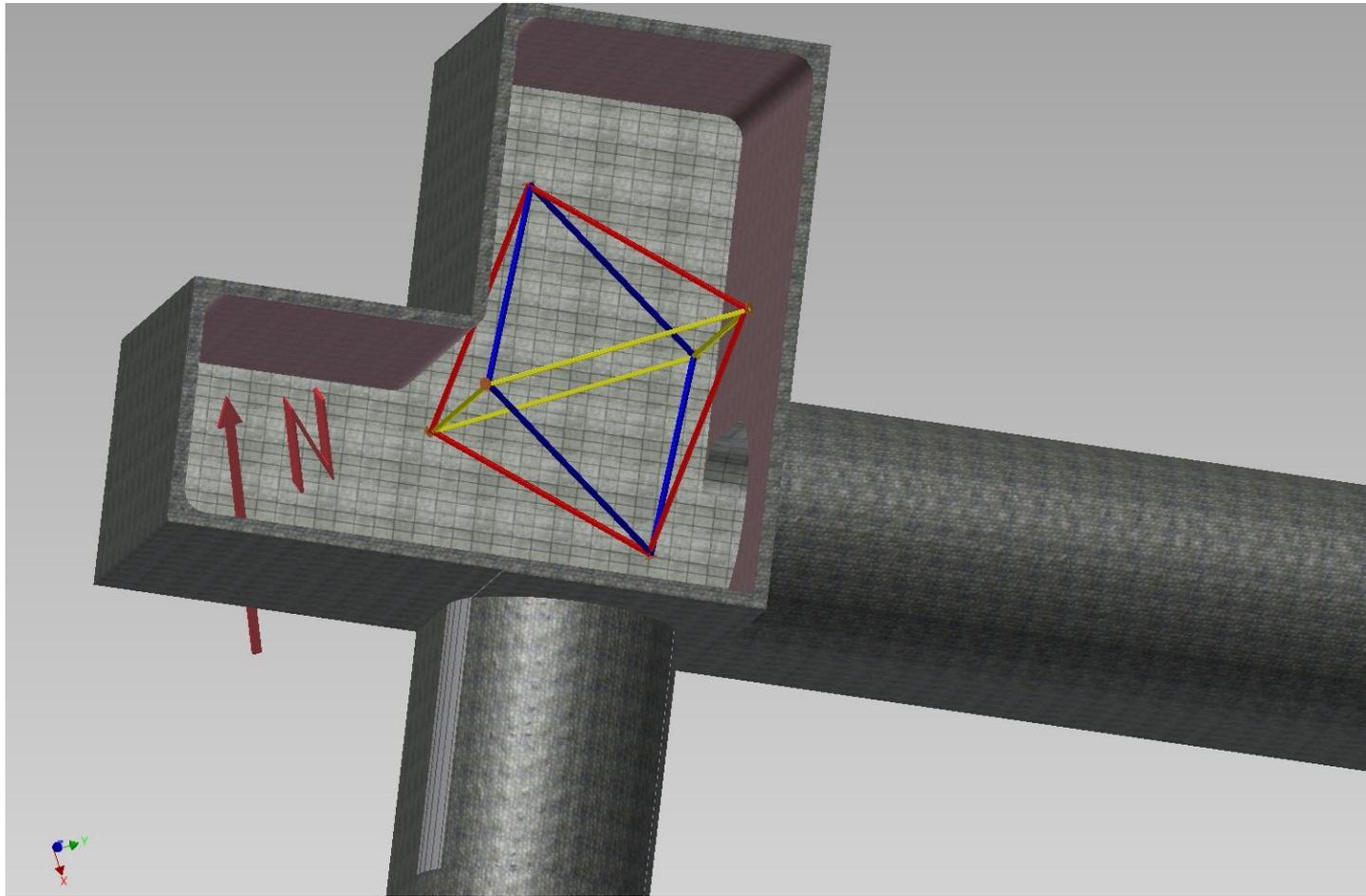


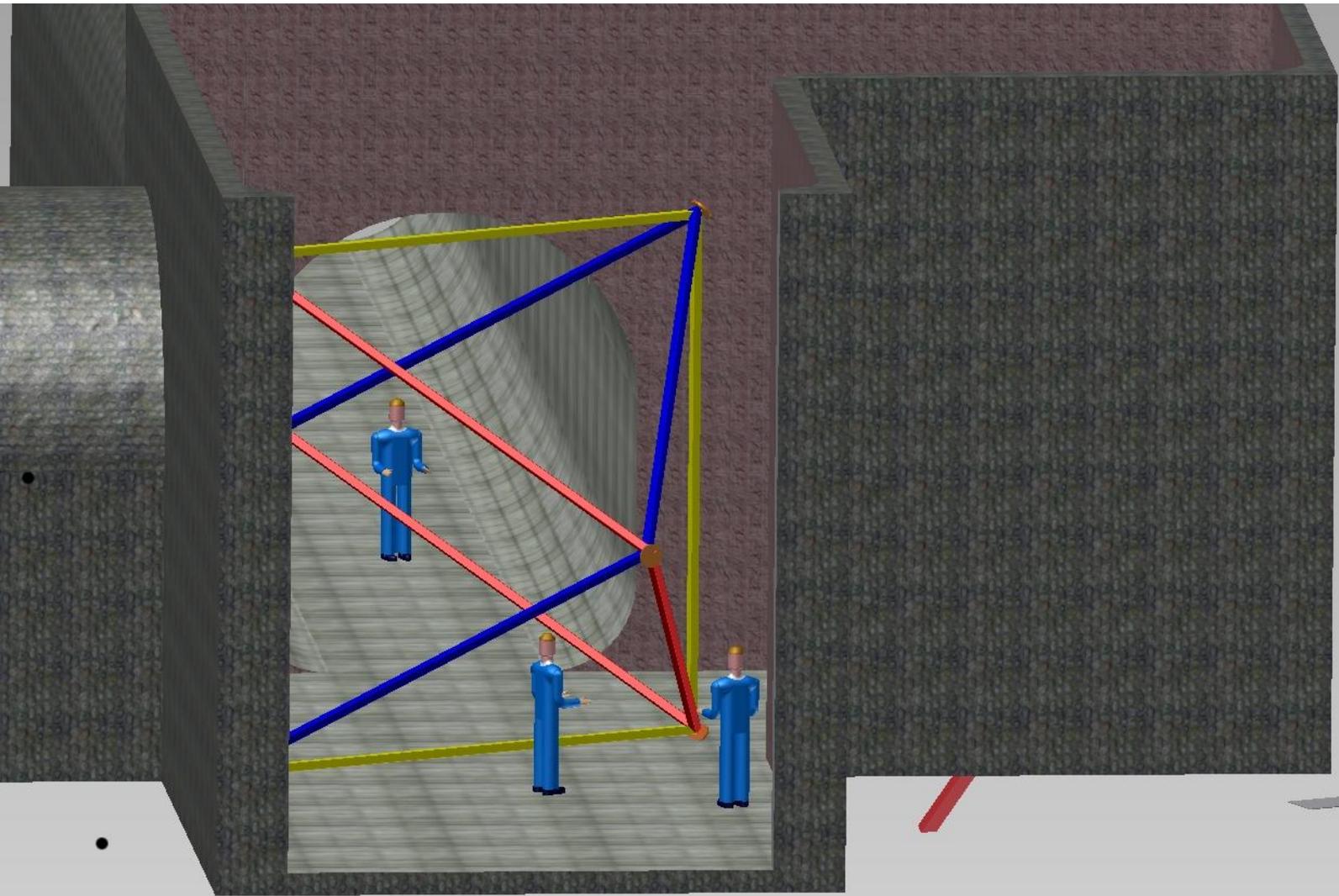
# UnderGround laboratory



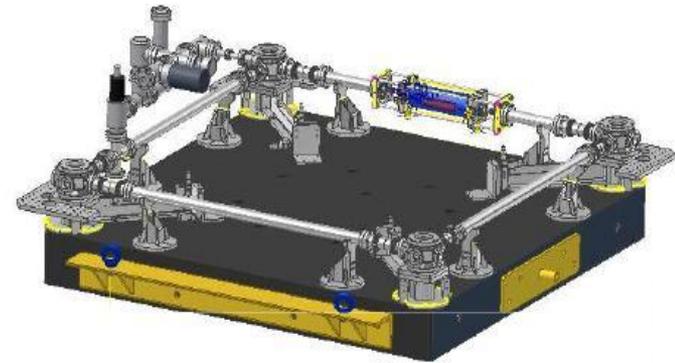
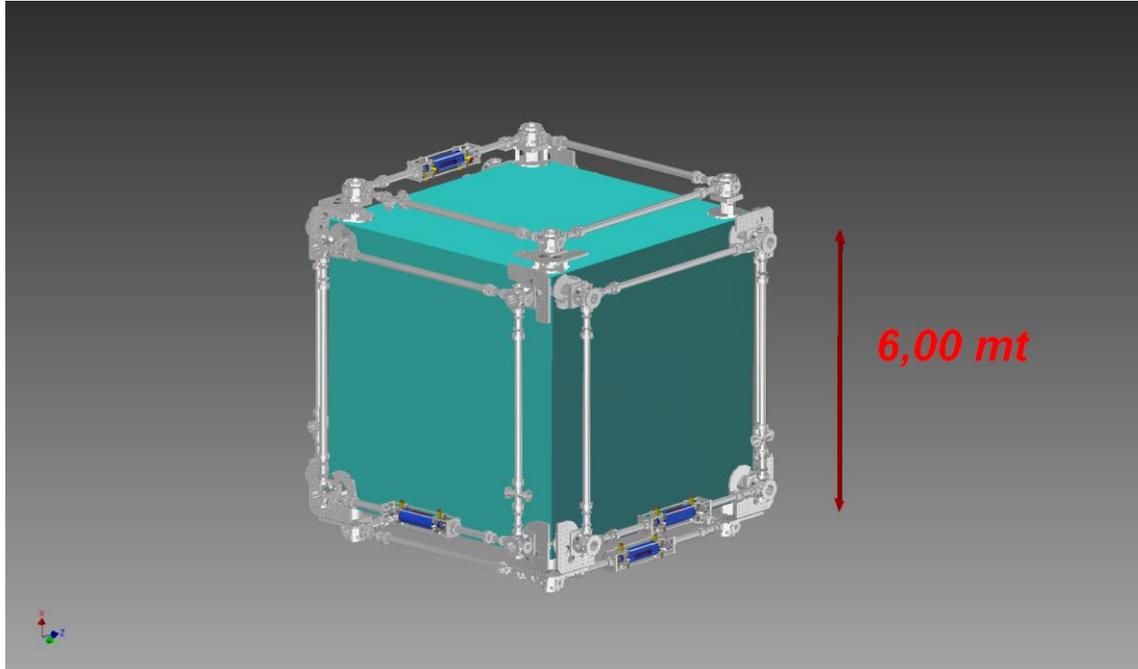
LNGS ha qualità eccellenti non solo per la profondità ma anche per la stabilità termica  
Se LNGS non fosse disponibile dovremo prendere in considerazione altri siti







Il cubo: immediato l'uso del disegno 'geosensor'  
ridondanza evidente: facce parallele a due a due

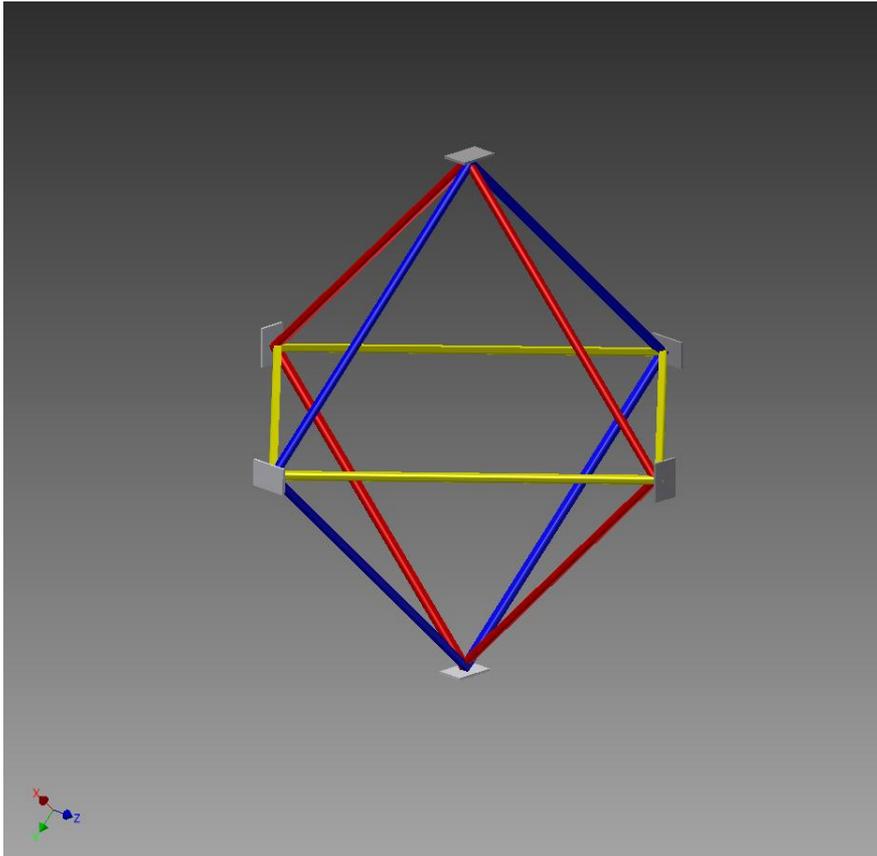


Le belle proprietà di un ottaedro (importanti per il controllo del fattore di scala e l'allineamento):

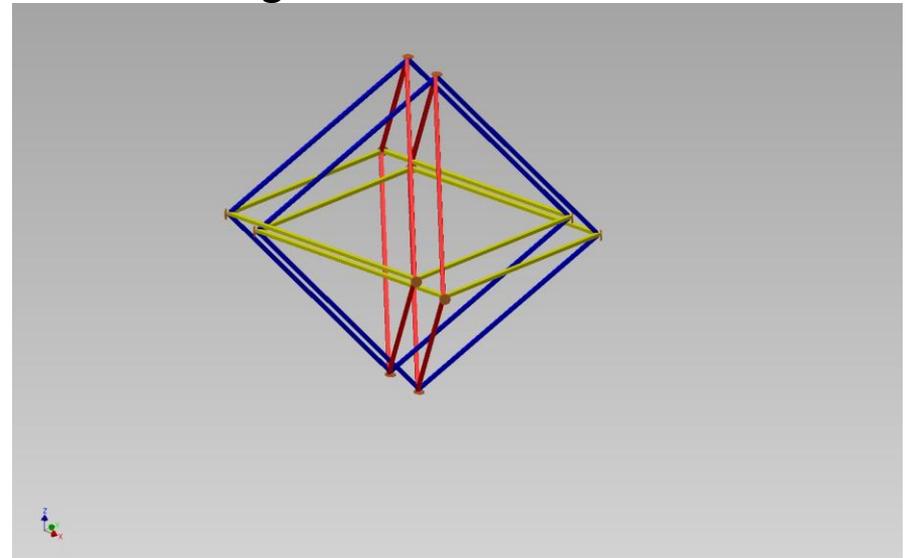
1) angolo tra due anelli  $\pi/2$

2)diversi vincoli geometrici che potrebbero aiutare la diagnostica: lunghezza dei lati e della diagonali

**necessaria una evoluzione del disegno del 'geosensor'**



'ridondanza è possibile restando negli stessi ingombri'

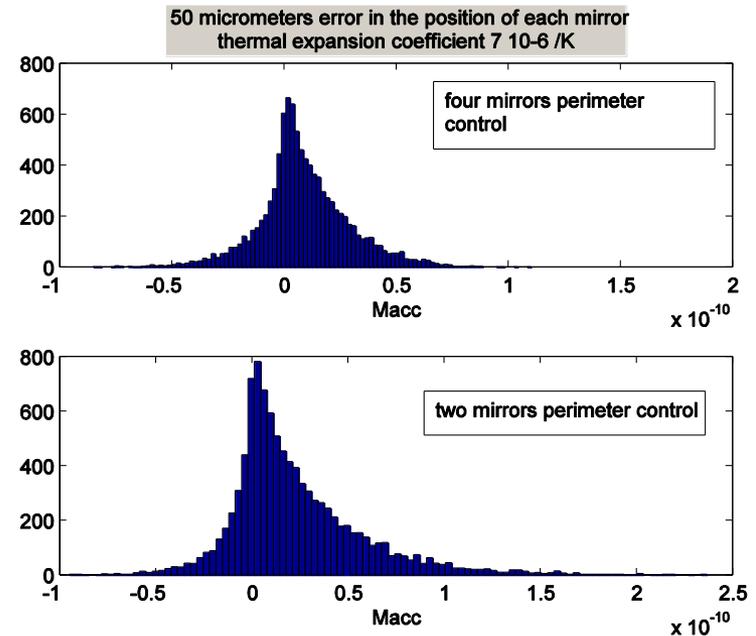
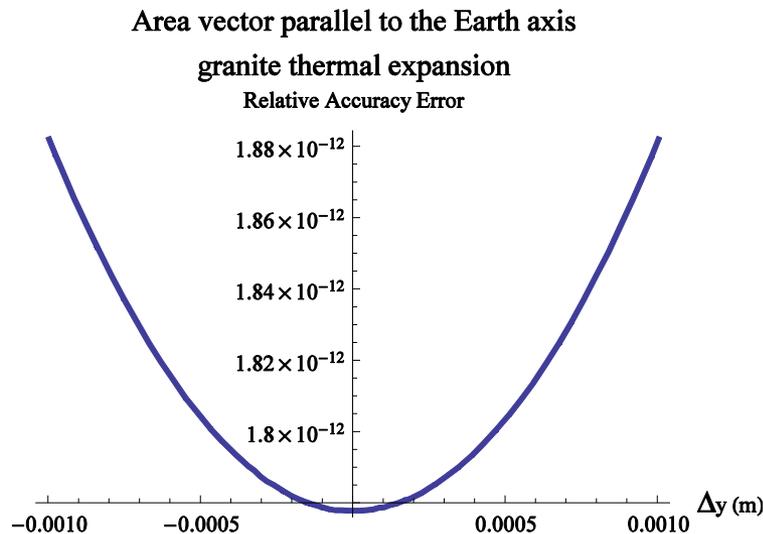


# Misura Accurata 5 parti in $10^{10}$ della velocità angolare terrestre

- IERSS misura la velocità della terra rispetto alle stelle fisse con una precisione di questo livello
- Il confronto tra le due misure (IERSS e ringlasers) permette di misurare il termine Lense Thirring: misura locale indipendente dalla precisione con cui si conosce la distribuzione di masse della Terra (fattore limitante per gli esperimenti spaziali)
- Occorre tenere sotto controllo l'apparato a questi alti livelli di precisione

# Perimetro e Area Parametri 'sensibili'

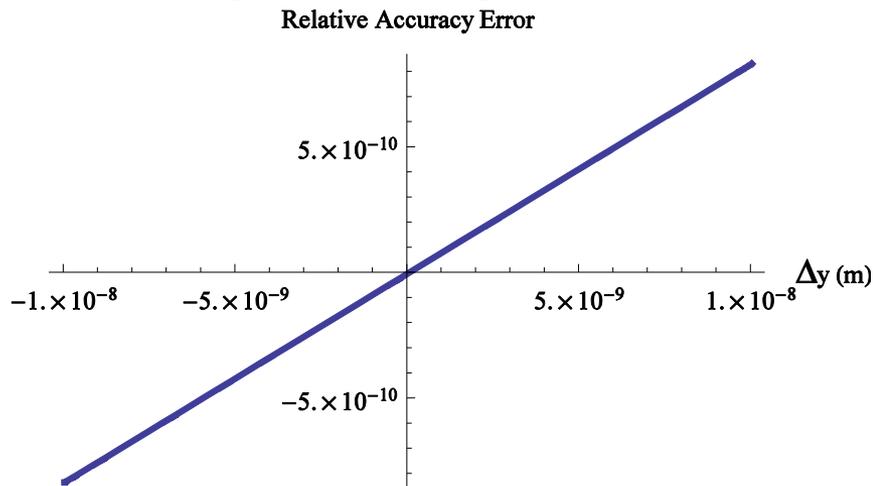
- Rapporto P/A di un quadrato perfetto varia al second'ordine-> occorre controllare le dimensioni lineari al livello delle decine di microns per avere la stabilità richiesta di 1 parte in  $10^{10}$



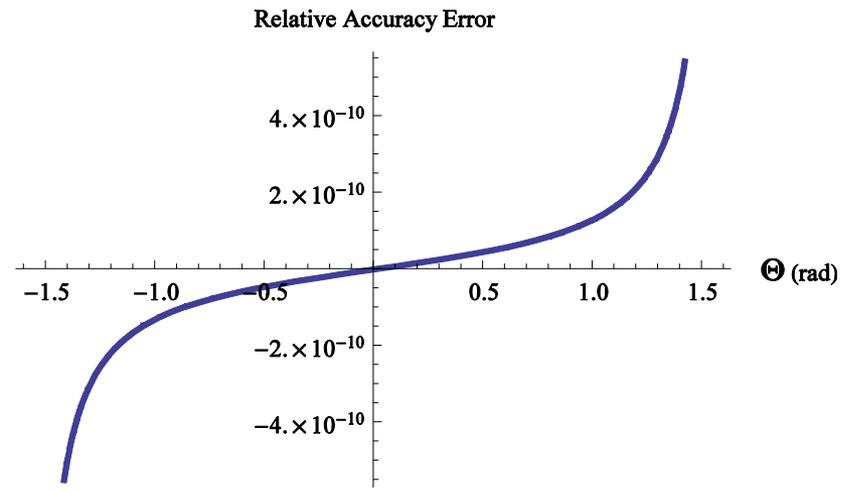
# Orientazione relativa monitorata al nrad

- Importante è tenere sotto controllo l'angolo relativo tra anelli diversi con la precisione del nrad

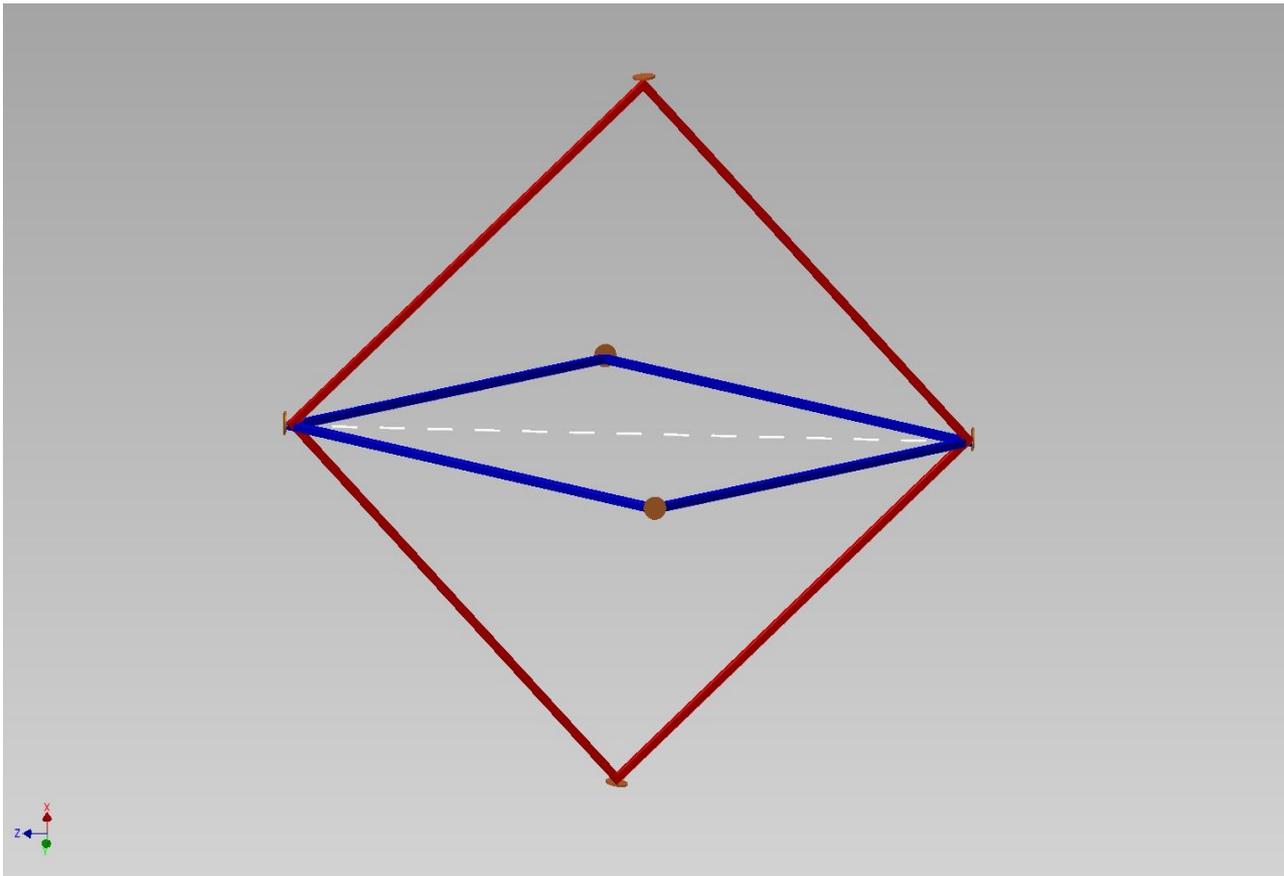
Area vector 45 degrees with respect to the Earth axis  
granite thermal expansion



Relative accuracy of the Earth angular rotation  
in function of the inclination angle



Cavità Fabry-Perot lineari lungo le diagonali danno la misura dell'angolo relativo con alta precisione



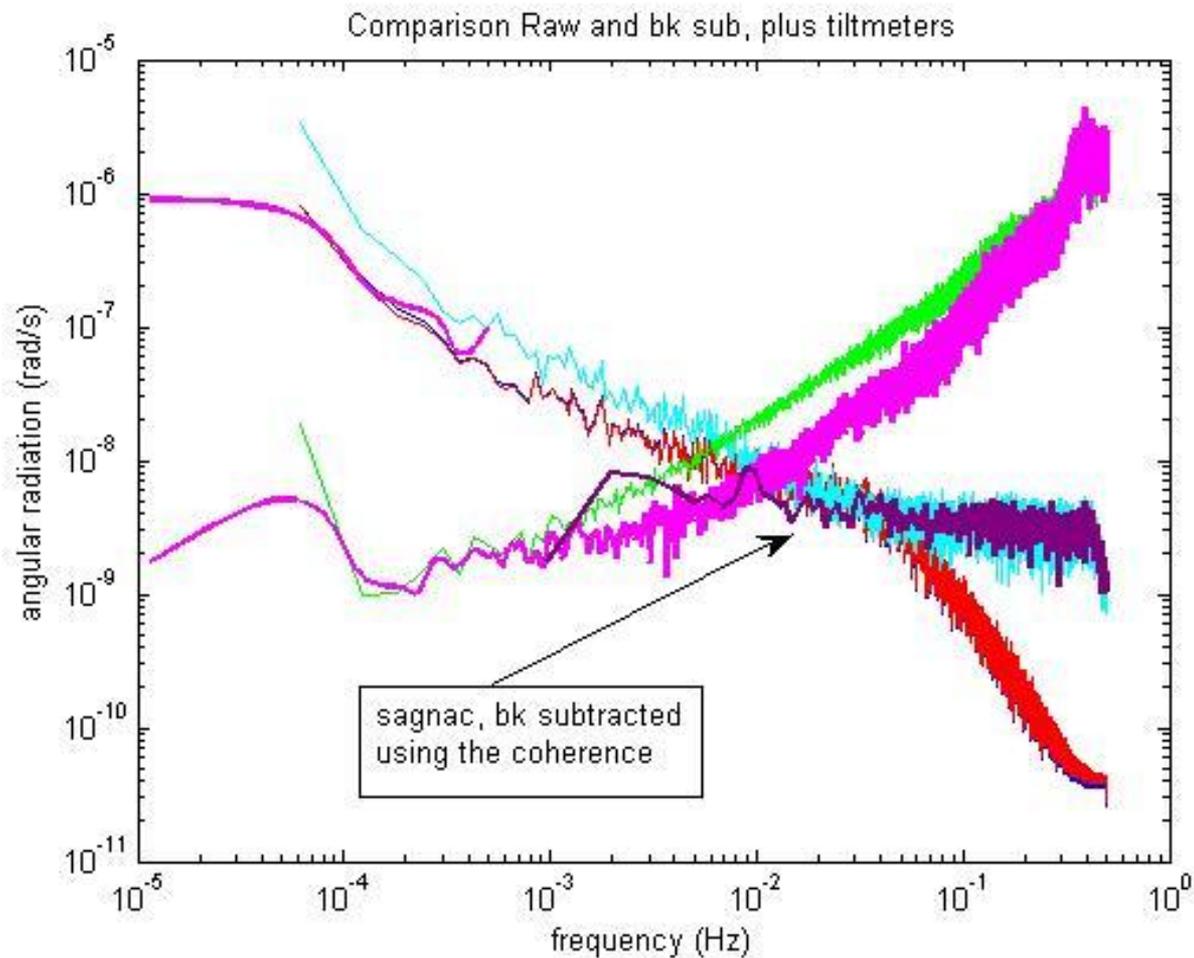
# 2012 Lavoro propedeutico

- Ring quadrato, costruito con precisione alta (decine di microns)
- cavità lineari lungo le diagonali e sensibilità al disallineamento angolare tra i due specchi
- Modello meccanico migliorato per quanto possibile dal punto di vista della stabilità termica

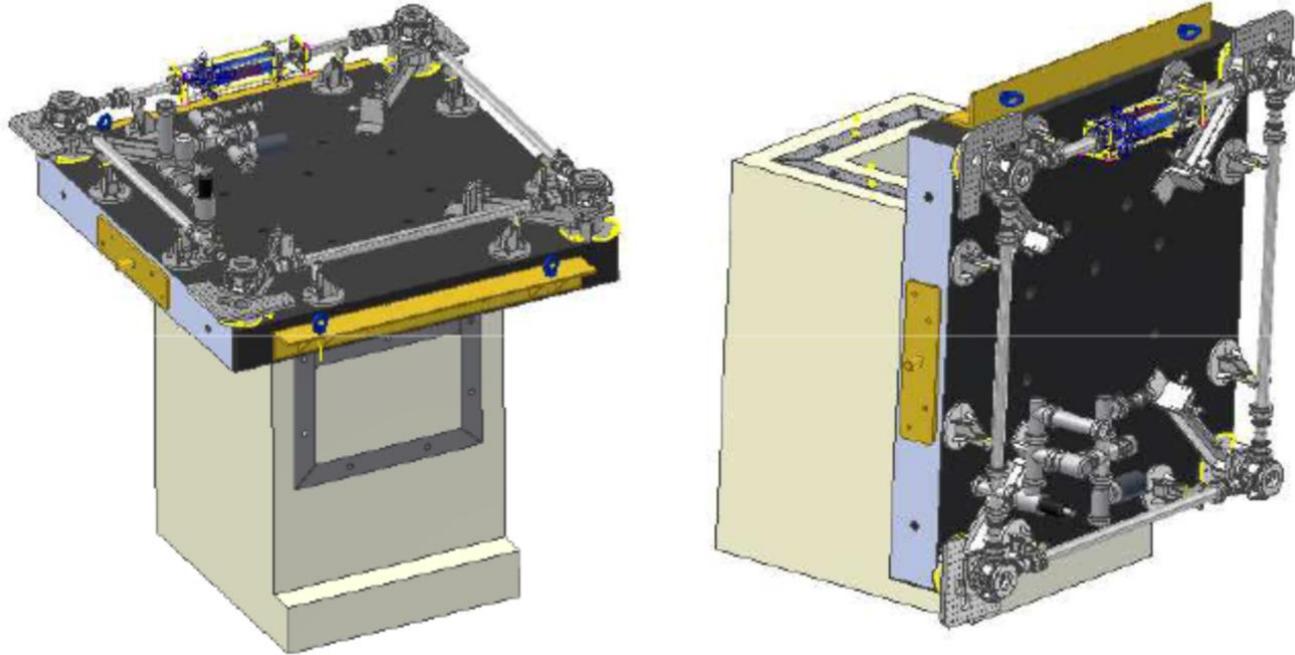
# A San Piero

- Stabilizzazione del perimetro con laser stabilizzato
- Montare l'anello orientato al massimo del segnale di Sagnac per essere indipendente dalle perturbazioni angolari (studio del Laser e la sensibilità)
- 'improved geosensor design' (minimizzazione degli effetti termici e integrazione di traslatori controllati in remoto)
- Acquisto di un geosensor 'migliorato' e inizio dello studio della struttura completa: cavità ad anello e due cavità Fabry-Perot lineari

...abbiamo imparato a fare i  
'monumenti'!



L'esperienza con l'installazione e monumento di Virgo è stata molto soddisfacente



Monumento in cemento armato sembra molto buono

Orientando il ring rispetto all'asse terrestre è possibile

Mettere in evidenza aspetti diversi:

massimo del Sagnac- insensibile alle fluttuazioni angolari

vicino al minimo del Sagnac- molto sensibile all'angolo

- Continuare lo studio teorico dei segnali angolari dal Fabry-Perot e cominciare la sperimentazione sul ring
- Continuare lo studio dei rumori limitanti la sensibilità a frequenze ultrabasse: un ring piccolo è vantaggioso da questo punto di vista): **osservazione del daily polar motion ?**

# Sensori sismici e Data acquisition

*ring di dimensioni ridotte*

- Il laboratorio deve essere integrato con sensori sismici di alta qualità e banda larga (basse frequenze)
- Occorre un buon data acquisition
- Test del ring su diversi monumenti in modo da mettere in luce diversi aspetti

# Programma 2012, propedeutico a G-GranSasso

- Messa a punto di un laboratorio dedicato equipaggiato con sensori sismici, monumenti etc.
- Studio dei fabry-perot lineari e acquisizione delle tecniche per misurare ogni singolo lato

# Virgo?

- Per ora non sono previste attività nel 2012 per Virgo. Eventuali coinvolgimenti dei ringlasers per AdVirgo saranno discussi in futuro, anche in base ai risultati ottenuti durante il run. I finanziamenti necessari per eventuali attività, devono venire da AdVirgo stesso

# Impatto con la sezione

- Alte tecnologie, Filippo & Co. coinvolti come quest'anno
- Officina 1 mese-uomo

# Costi, preliminare!

- ME 20kE riunioni per il nuovo disegno e il progetto in generale
- MI 10kE
  
- Monumenti 6kE
- Nuovo geosensor con 4 pzt 70kE SJ al nuovo disegno
- (Spostamento del sensore nella buca di Virgo e adeguamento della buca stessa circa 50kE: 15-20kE vanno nella infrastruttura Al/perspex di superficie, apribile per il carroponete, poi altri 15-20kE per il sistema di condizionamento /ventilazione attraverso filtri assoluti puliti e i rimanenti 5-10 KE per la preparazione delle superfici della buca con tinta per ambiente pulito, eventuale schermo isolante per irraggiamento e sensoristica di monitoring pressione e temperatura. )
- Consumi 30kE
- Sistema di acquisizione 10kE
- Sensori sismici 40kE
- Occorre sostituire qualche alimentatore e sintetizzatore 20kE
- Sistema di vuoto (20kE SJ)